

Praktikum E11

Hall-Effekt

Alena Zwanzig (722348)

Harald Haakh (720708)

Messungen vom 17.12.2004

1 Zusammenhang von Spulenstrom und B-Feld

Mit einem Teslameter wurde die B-Feldes im Spalt eines Eisenkerns bestimmt und gleichzeitig der Spulenstrom gemessen. Im $B(I_{Sp})$ -Diagramm (Diagramm 1) erkennt man einen affinen Zusammenhang. Der geringe Y-Achsenabschnitt wird durch die Remanenz des Eisenkerns verursacht. Vor der Messung wurde das Teslameter in einiger Entfernung von den Spulen und anderen möglicher Störquellen auf Null geregelt. Beim Einführen in den Spulen Kern wurde sofort eine magnetische Induktion von etwa $4mT$ gemessen. Der Effekt ist allerdings relativ klein. In guter Näherung kann man daher sagen, dass gilt:

$$B(I_{Sp}) \sim I_{Sp}$$
$$\frac{B(I_{Sp})}{I_{Sp}} = (202 \pm 2) \frac{mT}{A} = const.$$

Das Ergebnis entspricht der Erwartung. Ähnlich wie bei einer idealen 'langen Spule' liegt ein proportionaler Zusammenhang zwischen Spulenstrom und B-Feld vor (Biot-Savart-Gesetz). Die Vormagnetisierung des Eisenkerns ist auf die Remanenz des Materials zurückzuführen.

2 Abhängigkeit der Hall-Spannung vom Treibstrom

In der Spule wurde ein konstantes B-Feld von $B = 201mT$ erzeugt, indem der Spulenstrom auf $I_{Sp} = 1.0A = const.$ geregelt wurde. Der Treibstrom wurde schrittweise von etwa $4A$ auf $1A$ heruntergeregelt und dabei die Hall-Spannung und der Spannungsabfall längs der Bismutprobe gemessen. Da aus technischen Gründen die an der Probe anliegenden Messelektroden für die Hall-Spannung nicht exakt symmetrisch angebracht sind, wurde die Potentialdifferenz ohne Treibstrom zuvor auf Null geregelt.

In Diagramm 2 erkennt man, dass die Hall-Spannung direkt proportional zum Treibstrom ist. Die Parameter der Ausgleichsgeraden geben im Rahmen der Messunsicherheit keinen Achsenabschnitt an. Da sich bei größerem Strom auch mehr Ladungsträger in der Probe bewegen, wird auch die Hall-Spannung größer, da der durch die Ablenkung erzeugte Ladungsüberschuss an der Probenoberfläche zunimmt.

3 Abhängigkeit der Hall-Spannung vom B-Feld

In einer weiteren Messreihe wurde der Treibstrom konstant auf $I_{Treib} = 3.51A$ gehalten und über den Spulenstrom das B-Feld verändert. In Diagramm 4 erkennt man wieder einen proportionalen Zusammenhang zwischen Hall-Spannung und B-Feld. Das entspricht den Erwartungen. Da die auf die Ladungen wirkende Lorentzkraft $F = Bev$ bei stärkerem B-Feld eine stärkere Ablenkung hervorruft, muss auch die Hall-Spannung zunehmen.

4 Geometrie der Probe

Die Bismut-Probe hat nach der Platzanweisung die Abmessungen $l = 29.5mm$, $b = 4.2mm$, $d = 2.2mm$ und damit ein Volumen von $V = bdl = 0.273cm^3$ und ein Querschnittsfläche $A = bd = 0.092cm^2$ in Stromrichtung.

5 Längswiderstand und Leitfähigkeit der Bismutprobe

Bei Bismut handelt es sich um ein verhältnismäßig schlecht leitendes Metall. Nach dem Ohmschen Gesetz gilt für den Spannungsabfall an der Probe

$$U_{Bi} = RI_{Treib}$$

Aus der Steigung im $U_{Bi}(I_{Treib})$ -Diagramm lässt sich demnach direkt der Längswiderstand der Probe ablesen. Dieser ergibt sich zu $R = (10.6 \pm 0.1) \cdot 10^{-3} \Omega$ (Regressionsgeradenparameter in OpenOffice).

$$R = \frac{l}{\sigma A}$$
$$\sigma = \frac{l}{AR} = 0.30 \frac{m}{\Omega mm^2}$$

Nach *Kuchling, Taschenbuch der Physik* beträgt der spezifische Widerstand von Bismut $\rho = \frac{1}{\sigma} = 1.17 \frac{\Omega mm^2}{m} \Leftrightarrow \sigma = 0.85 \frac{m}{\Omega mm^2}$

Da bei der Verbindung zwischen den Elektroden und der Bismutprobe ein zusätzlicher Übergangswiderstand auftreten muss, war eine niedrigere gemessene Leitfähigkeit ggü. dem Tabellenwert zu erwarten. Die Abweichung ist mit über 50% aber erstaunlich groß.

6 Bestimmung der Hallkonstante

Für die Hall-Spannung gilt die Beziehung

$$U_H = R_H \frac{BI_{Treib}}{d}$$

Demnach lässt sie sich aus dem Anstieg im $U_H(B)$ - oder dem $U_H(I_{Treib})$ -Diagramm berechnen.

6.1 Aus dem $U_H(I_{Treib})$ -Diagramm

Aus dem $U_H(I_{Treib})$ -Diagramm erhält man für den Anstieg $a_1 = \frac{R_H B}{d} = (51.3 \pm 0.3) \cdot 10^{-6} \frac{V}{A}$. $B = (201 \pm 1)mT$, $d = (2.2 \pm 0.05)mm$ waren konstant damit ergibt sich

$$R_H = \frac{a_1 B}{d} = (5.6 \pm 0.2) \cdot 10^{-7} \frac{Vm}{TA}$$
$$u_{RH} = R_H (|\frac{u_a}{a}| + |\frac{u_B}{B}| + |\frac{u_d}{d}|)$$

6.2 Aus dem $U_H(B)$ -Diagramm

Aus dem $U_H(B)$ -Diagramm erhält ähnlich aus dem Anstieg $a_2 = \frac{R_H I}{d} = (9.2 \pm 0.1) \cdot 10^{-4} \frac{V}{T}$. Hierbei waren $I = (3.51 \pm 0.01)A$, d konstant und man erhält

$$R_H = \frac{a_2 d}{I} = (5.7 \pm 0.2) \cdot 10^{-7} \frac{Vm}{TA}$$
$$u_{RH} = R_H (|\frac{u_a}{a}| + |\frac{u_I}{I}| + |\frac{u_d}{d}|)$$

6.3 Vergleich

Der Tabellenwert beträgt $R_H = 5.4 \cdot 10^{-7} \frac{m^3}{C}$. Damit liegen die gemessenen Werte gut in der Nähe des Tabellenwertes.

7 Bestimmung der Ladungsträger

Mit einer Magnetfeldnadel wurde die Magnetische Polarisierung der Polschuhe und damit die Orientierung des B-Feldes bestimmt. Aus der Stromrichtung und der Orientierung B-Felds kann man dann mit der UVW-Regel ('Rechte Hand'-Regel) überlegen, wie sich positive bzw. negative Ladungsträger verhalten würden. Anhand des Vorzeichens der Hall-Spannung erkennt man, dass die Ladungsträger negativ geladen waren. Es kommt also Ladungstransport durch Elektronen in Frage.

8 Bestimmung der Stromträgerbeweglichkeit

Es gilt die Beziehung

$$R_H = \frac{\mu}{\sigma} \Leftrightarrow \mu = \sigma R_H$$

Aus den oben berechneten Werten von $R_H = (5.7 \pm 0.1) \cdot 10^{-7} \frac{Vm}{TA}$ und dem Tabellenwert für σ ergibt sich damit

$$\mu = (6.7 \pm 0.2) \frac{1}{T}$$

9 Ladungsträger- und Atomkonzentration

Es gilt $R_H = \frac{\mu}{\sigma} = \frac{1}{C_{eQ}}$. Die Ladungsträgerkonzentration beträgt, da die Ladungsträger hier Elektronen waren

$$C_e = \frac{1}{eR_H} = 1.1 \cdot 10^{25} \frac{1}{m^3}$$

Die Atomkonzentration von Bismut beträgt mit Atomgewicht $A_{r;Bi} = 209 \frac{g}{mol}$ und Massendichte $\rho_{Masse} = 9.8 \frac{g}{cm^3}$

$$C_{Bi} = N_A \frac{\rho_{Masse}}{A_{r;Bi}} = 2.82 \cdot 10^{28} \frac{1}{m^3}$$

Es sind also nur vergleichsweise wenige Elektronen verfügbar. Bei einem gut leitendem Metall, z.B. Kupfer geht man davon aus, dass pro Atom etwa ein Elektron zur Verfügung steht. Dies erklärt die schlechte Leitfähigkeit des Bismuts. Für die Messung des Hall-Effektes ist es aber notwendig, ein schlecht leitendes Material zu verwenden, um große Ströme zu vermeiden.

Anlagen:

- Diagramme
- Messprotokoll
- Berechnungen mit OpenCalc

Potsdam, 3. Januar 2005

Alena Zwanzig

Harald Haakh